

Тема №3 Динамика движений человека

Как вы узнали из прошлой темы, динамика рассматривает влияние взаимодействия между телами на их механическое движение.

При этом надо различать:

- *динамику поступательного движения*, или динамику материальной точки, и
- *динамику вращательного движения*, или динамику твердого тела.

Силой называется некоторая физическая величина, выражающая взаимодействие между рассматриваемым телом и другими телами или полями. Поэтому все силы можно разделить на две основных категории: силы, проявляющиеся при непосредственном взаимодействии тел (рис. 1), и силы, которые действуют без непосредственного контакта (рис. 2).

Ко второй категории относятся силы от полей: гравитационного, электромагнитного и других.



Рис. 1



Рис. 2

Ускорение тела пропорционально силе, действующей на тело: $a \sim F$. Тогда отношение величины силы, действующей на тело, к приобретенному телом ускорению, постоянно для данного тела и называется *массой тела*: $m = \frac{F}{a}$.

Масса тела (рис. 3) является неизменной характеристикой данного тела, не зависящей от его местоположения. Масса характеризует два свойства тела:

- *инерцию*, когда тело изменяет состояние своего движения только под воздействием внешней силы.
- *тяготение*, когда между телами действуют силы гравитационного притяжения.



Рис. 3



Рис. 4

Грамотный специалист не должен путать массу тела (меру инертности) с весом тела (силой с которой оно давит на опору или растягивает подвес – рис. 4). Простой пример – поведение тел в невесомости: тела не имеют веса (невесомость), но наличие массы не отменяет выполнения законов Ньютона.

Масса характеризует инертность тела при поступательном движении. При вращении инертность зависит не только от массы, но и от того, как распределена эта масса относительно оси вращения. Чем больше расстояние до оси вращения, тем больше вклад в инертность тела. Количественной мерой инертности тела при вращательном движении служит *момент инерции*:

$$J = mR_{ин}^2,$$

где $R_{ин}$ – радиус инерции – среднее расстояние от оси вращения (например, от оси сустава) до материальных точек тела.

Сила, приложенная к твердому телу, которое может вращаться вокруг некоторой точки (рис. 5), создает *момент силы*. Момент силы M равен векторному произведению радиус-вектора r на силу F :

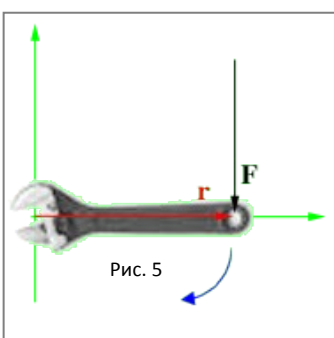


Рис. 5

$$M = r \times F = rF \sin(r;F)$$

Если на тело, которое может вращаться вокруг какой-либо точки, действуют одновременно несколько сил, то для сложения моментов этих сил следует воспользоваться правилом сложения моментов.

Другой физической величиной, связывающей движение тела с его инертностью, является *импульс тела* (рис. 6) – произведение массы тела на его скорость $p = mv$. Для импульса справедлив закон сохранения, т.е. полный импульс замкнутой системы остается постоянным. Полный импульс такой системы представляет векторную сумму всех импульсов.



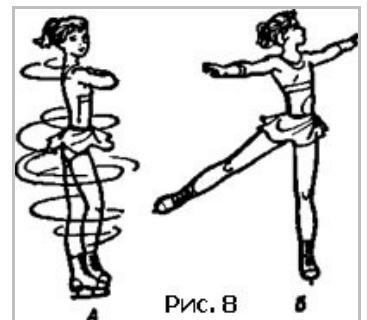
Для твердого тела вследствие вращения вокруг некоторой оси (рис. 7) появляется *момент импульса* (иначе – момент количества движения, угловой момент) – произведение момента инерции тела на его угловую скорость: $L = J\omega$. Изменение момента импульса (при неизменном моменте инерции тела) может произойти только вследствие изменения угловой скорости и всегда обусловлено действием момента силы.

Центром масс называется точка, где пересекаются линии действия всех сил, не вызывающих вращение тела. В поле тяготения центр масс совпадает с *центром тяжести* (см. Приложение к теме №3). Положение общего центра масс тела определяется тем, где находятся центры масс отдельных звеньев. Для человека это зависит от его позы, т.е. пространственного положения элементов тела.

В человеческом теле около 70 звеньев, но для биомеханического моделирования чаще всего достаточно 15-звенной модели человеческого тела (например, голова, бедро, стопа, кисть и т.д.). Зная, каковы массы и моменты инерции звеньев тела и где расположены их центры масс, можно решить многие задачи биомеханики, в том числе:

- определить импульс тела;
- определить момент импульса, при этом надо учитывать, что величины моментов относительно разных осей неодинаковы;
- оценить, легко или трудно управлять скоростью тела или отдельного звена;
- определить степень устойчивости тела и т.д.

Простой пример применения этой теории. Фигурист может заставить себя вращаться быстрее, обнимая себя руками, или медленнее, расставляя руки в стороны. Во втором случае масса тела остается постоянной, но увеличивается радиус инерции и, следовательно, момент инерции и общая инертность тела.



Звенья тела как рычаги и маятники

Разбиение тела человека на звенья позволяет представить эти звенья как механические рычаги и маятники, потому что все эти звенья имеют точки соединения, которые можно рассматривать либо как точки опоры (для рычага), либо как точки отвеса (для маятника).

Рычаг характеризуется расстоянием между точкой приложения силы и точкой вращения. Рычаги бывают первого и второго рода.

Рычаг первого рода или рычаг равновесия состоит только из одного звена. Пример – крепление черепа к позвоночнику.

Рычаг второго рода характеризуется наличием двух звеньев. Условно можно выделить рычаг скорости и рычаг силы в зависимости от того, что преобладает в их действиях. Рычаг скорости дает выигрыш в скорости при совершенствовании работы. Пример – локтевой сустав с грузом на ладони. Рычаг силы дает выигрыш в силе. Пример – стопа на пальцах.

Поскольку тело человека выполняет свои движения в трехмерном пространстве, то его звенья характеризуются степенями свободы, т.е. возможностью совершать поступательные и вращательные движения во всех измерениях. Если звено закреплено в одной точке, то оно способно совершать вращательные движения и мы можем сказать, что оно имеет три степени свободы.

Закрепление звена приводит к образованию связи, т.е. связанному движению закрепленного звена с точкой закрепления.

Поскольку руки и ноги человека могут совершать колебательные движения, то к механике их движения применимы те же формулы, что и для простых механических маятников. Основное вывод из них – собственная частота колебаний не зависит от массы качающегося тела, но зависит от его длины (при увеличении длины частота колебаний уменьшается).

Делая частоту шагов при ходьбе или беге или гребков при плавании или гребле *резонансной* (т.е. близкой к собственной частоте колебаний руки или ноги), удастся минимизировать затраты энергии. При наиболее экономичном сочетании частоты и длины шагов или гребков человек демонстрирует существенный рост работоспособности. Простой пример: при беге высокий спортсмен имеет большую длину шага и меньшую частоту шагов, чем более низкорослый спортсмен, при равной с ним скорости передвижения.

Механические свойства костей и суставов

Механические свойства костей определяются их разнообразными функциями; кроме двигательной, они выполняют защитную и опорную функции. Так кости черепа и грудной клетки защищают внутренние органы, а кости позвоночника и конечностей выполняют опорную функцию.

Выделяют 4 вида механического воздействия на кость: растяжение, сжатие, изгиб и кручение.

Установлено, что прочность кости на растяжение почти равна прочности чугуна. При сжатии прочность костей еще выше. Самая массивная кость – большеберцовая (основная кость бедра) выдерживает силу сжатия в 16-18 кН.

Менее прочны кости на изгиб и кручение. Однако регулярные тренировки приводят к гипертрофии костей. Так, у штангистов утолщаются кости ног и позвоночника, у теннисистов – кости предплечья и т.п.

Механические свойства суставов зависят от их строения. Суставная поверхность смачивается синовиальной жидкостью, которую хранит суставная сумка. Синовиальная жидкость обеспечивает уменьшение трения в суставе примерно в 20 раз. При этом при снижении нагрузки на сустав жидкость поглощается губчатыми образованиями сустава, а при увеличении нагрузки она выжимается для смачивания поверхности сустава и уменьшения коэффициента трения.

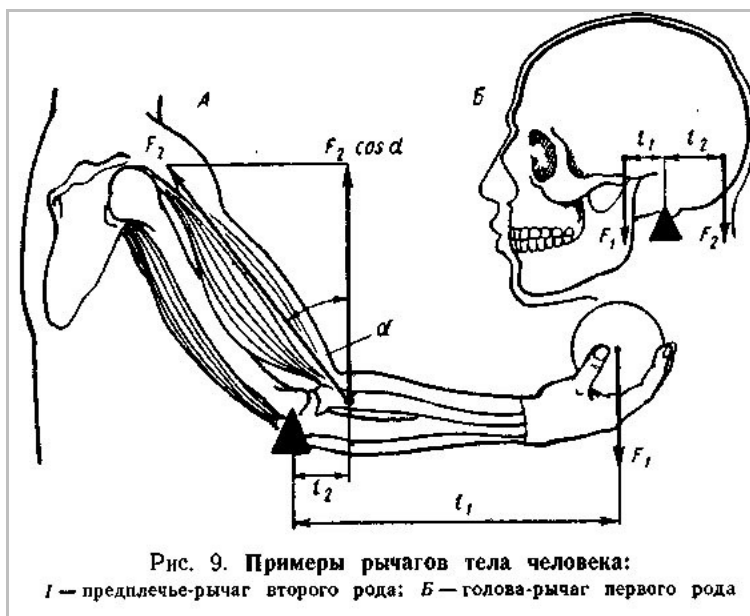


Рис. 9. Примеры рычагов тела человека: А – предплечье-рычаг второго рода; Б – голова-рычаг первого рода

Прочность суставов, как и прочность костей, не беспределельна. Так, давление в суставном хряще не должно превышать 350 Н/см². При более высоком давлении прекращается смазка суставного хряща и увеличивается опасность его механического стирания.

Биомеханические свойства мышц

Двигательная деятельность человека происходит при помощи мышечной ткани, обладающей сократительными структурами. Работа мышц осуществляется благодаря сокращению (укорачиванию с утолщением) миофибрилл, которые находятся в мышечных клетках. Работа мышц осуществляется посредством их присоединения к скелету при помощи сухожилий.



К биомеханическим свойствам мышц относят сократимость, упругость, жесткость, прочность и релаксацию.

Сократимость – это способность мышцы сокращаться при возбуждении. В результате сокращения происходит укорочение мышцы и возникает сила тяги.

Упругость мышцы состоит в ее способности восстанавливать первоначальную длину после устранения деформирующей силы. Существование упругих свойств объясняется тем, что при растяжении в мышце возникает энергия упругой деформации. При этом мышцу можно сравнить с пружиной: чем сильнее растянута или сжата пружина, тем большая энергия в ней запасена. Это явление широко используется в спорте. Например, в хлесте предварительно растягиваются и параллельный, и последовательный упругий компонент мышц, чем накапливается энергия. Запасенная таким образом энергия в финальной части движения (толкания, метания и т.д.) преобразуется в энергию движения (кинетическую энергию).

Аналогия мышцы с пружиной позволяет применить к ее работе закон Гука, согласно которому удлинение пружины нелинейно зависит от величины растягивающей силы. Кривую поведения мышцы в этом случае называют «сила-длина». Зависимость между силой и скоростью мышечного сокращения («сила-скорость») называют кривой Хилла.

Жесткость – это способность противодействовать прикладываемым силам. Коэффициент жесткости определяется как отношение приращения восстанавливающей

силы к приращению длины мышцы под действием внешней силы:
$$K_{жс} = \frac{DF}{D} \text{ (Н/м)}.$$

Величина, обратная жесткости, называется *податливостью* мышцы. Коэффициент

податливости:
$$K_{п} = \frac{D}{DF} \text{ (м/Н)}$$
 – показывает, насколько удлинится мышца при

изменении внешней силы. Например, податливость сгибателя предплечья близка к 1 мм/Н.

Прочность мышцы оценивается величиной растягивающей силы, при которой происходит разрыв мышцы. Сила, при которой происходит разрыв мышцы составляет от 0,1 до 0,3 Н/мм². Предел прочности сухожилий на два порядка величины больше и составляет 50 Н/мм². Однако, при очень быстрых движениях возможен разрыв более прочного сухожилия, а мышца остается целой, успев самортизировать.

Релаксация – свойство мышцы, проявляющееся в постепенном уменьшении силы тяги при постоянной длине мышцы. Релаксация проявляется, например, при прыжке вверх, если во время глубокого приседа спортсмен делает паузу. Чем пауза длительнее, тем сила отталкивания и высота выпрыгивания меньше.

Существует два вида группового взаимодействия мышц: *синергизм* и *антагонизм*.

Мышцы-синергисты перемещают звенья тела в одном направлении. Например, при сгибании руки в локтевом суставе участвуют двуглавая мышца плеча, плечевая и плече-лучевая мышцы и т.д. Результатом синергического взаимодействия мышц служит увеличение результирующей силы действия. При наличии травмы, а также при локальном утомлении какой-либо мышцы ее синергисты обеспечивают выполнение двигательного действия.

Мышцы-антагонисты имеют, наоборот, разнонаправленное действие. Так, если одна из них выполняет преодолевающую работу, то другая – уступающую. Существованием мышц-антагонистов обеспечивается:

1. высокая точность двигательных действий;
2. снижение травматизма.

Вопросы к теме №3:

1. Назовите два вида динамики.
2. Что такое сила?
3. Какие две категории сил вы знаете?
4. Что называется массой тела?
5. Какие свойства тел характеризует масса?
6. Чем отличается масса тела от веса?
7. От чего зависит инертность при вращении?
8. Что такое момент инерции?
9. Что такое момент силы?
10. Что такое импульс тела?
11. Что такое момент импульса?
12. Что называют центром масс?
13. Как называют центр масс в поле тяготения?
14. Какие задачи биомеханики можно решить, зная массы и моменты инерции звеньев тела, расположение их центров масс?
15. Что дает разбиение тела человека на звенья?
16. Что характеризует любой рычаг?
17. Что представляет собой рычаг равновесия?
18. Чем характеризуется рычаг скорости?
19. Чем характеризуется рычаг силы?
20. Как бы вы определили, что такое степень свободы?
21. Какая связь между руками и ногами человека и простыми механическими маятниками?

22. Как влияет частота шагов при ходьбе или беге на затраты энергии?
23. Какие функции определяют механические свойства костей?
24. Перечислите виды механического воздействия на кость.
25. Как меняются механические свойства суставов при различных нагрузках?
26. Как осуществляется двигательная деятельность человека?
27. Что такое сократимость мышц?
28. Что такое упругость мышц?
29. Что такое жесткость мышц?
30. Что такое прочность мышц?
31. Что такое релаксация мышц?
32. Как работают мышцы-синергисты?
33. Как работают мышцы-антагонисты?